

[First Hit](#)[Previous Doc](#)[Next Doc](#)[Go to Doc#](#)[Generate Collection](#)[Print](#)

L8: Entry 56 of 74

File: JPAB

Mar 12, 1983

PUB-N0: JP358042750A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 58042750 A

TITLE: ALLOY FOR STRAIN GAUGE AND ITS MANUFACTURE

PUBN-DATE: March 12, 1983

## INVENTOR-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

MASUMOTO, RYO

NAKAMURA, NAOJI

US-CL-CURRENT: 420/440; 420/452, 420/585

INT-CL (IPC): C22C 30/00; C21D 6/00; C22C 19/03; C22C 19/07; C22C 38/52; C22F 1/10;  
G01B 7/18

## ABSTRACT:

PURPOSE: To obtain the titled alloy easy to work and having a high gauge rate, a slight change in the gauge rate to the composition and superior other various characteristics by adding Ni to an Fe-Cr-Co alloy as a material for a strain gauge.

CONSTITUTION: An alloy consisting of, by weight, 3~35% Cr, 17~70% Co, 0.01~ 60% Ni, 0.1~25% in total of one ore more among  $\leq 10\%$  Cu,  $\leq 7\%$  W,  $\leq 10\%$  Mo,  $\leq 7\%$  Nb,  $\leq 10\%$  Ta,  $\leq 10\%$  V,  $\leq 20\%$  Pd,  $\leq 5\%$  Sn,  $\leq 5\%$  Sb,  $\leq 10\%$  Mn,  $\leq 5\%$  Al,  $\leq 5\%$  Si,  $\leq 5\%$  Ti,  $\leq 4\%$  Ge and  $\leq 7\%$  Zr, a small amount of impurities and the balance Fe is cold worked at  $\leq 1\%$  working rate and heated at  $\leq$  abuot 400°C for about 1min~100hr to obtain an alloy having stable gauge characteristics and  $\geq 2$  gauge rate.

COPYRIGHT: (C)1983, JPO&amp;Japio

[Previous Doc](#)[Next Doc](#)[Go to Doc#](#)

## ⑫ 公開特許公報 (A)

昭58-42750

⑩Int. Cl.<sup>3</sup>  
 C 22 C 30/00  
 C 21 D 6/00  
 C 22 C 19/03  
 19/07  
 38/52  
 C 22 F 1/10  
 G 01 B 7/18

識別記号  
 庁内整理番号  
 6411-4K  
 7147-4K  
 7821-4K  
 7821-4K  
 7325-4K  
 8019-4K  
 7707-2F

⑪公開 昭和58年(1983)3月12日  
 発明の数 4  
 審査請求 未請求

(全 10 頁)

## ⑩ストレインゲージ用合金およびその製造方法

⑪特 願 昭56-140237

⑫出 願 昭56(1981)9月8日

特許法第30条第1項適用 昭和36年3月20日  
 発行日本金属学会第88回大会講演概要集において発表

⑩發明者 増本量

仙台市上杉三丁目8番22号

⑪發明者 中村直司

仙台市鶴ヶ谷四丁目26番11号

⑫出願人 財団法人電気磁気材料研究所  
仙台市八木山南二丁目1番1号

⑬代理 人 弁理士 杉村暁秀 外1名

## 明細書

1. 発明の名称 ストレインゲージ用合金およびその製造方法

## 2. 特許請求の範囲

1. 重量比にてクロム3～35%、コバルト17～70%、ニッケル0.01～60%および残部鉄と、少量の不純物からなり、ゲージ率が2以上を有することを特徴とするストレインゲージ用合金。

2. 重量比にてクロム3～35%、コバルト17～70%、ニッケル0.01～60%および残部鉄を主成分とし、副成分として銅10%以下、タンクステン7%以下、モリブデン10%以下、ニオブ7%以下、タンタル10%以下、バナジウム10%以下、ベラジウム20%以下、錳5%以下、アンチモン5%以下、マンガン10%以下、アルミニウム5%以下、シリコン5%以下、チタン5%以下、ゲルマニウム5%以下およびジルコニウム7%以下の1種または2種以上の合計0.1～25%と、少量の不純物とからな

り、ゲージ率が2以上を有することを特徴とするストレインゲージ用合金。

3. 重量比にてクロム3～35%、コバルト17～70%、ニッケル0.01～60%および残部鉄と、少量の不純物からなる合金に加工率1%以上の冷間加工を施し、さらにこれを400℃以下の温度で1分以上100時間以下加熱することによりゲージ特性が安定で、ゲージ率が2以上を有する合金を得ることを特徴とするストレインゲージ用合金の製造方法。

4. 重量比にてクロム3～35%、コバルト17～70%、ニッケル0.01～60%および残部鉄を主成分とし、副成分として銅10%以下、タンクステン7%以下、モリブデン10%以下、ニオブ7%以下、タンタル10%以下、バナジウム10%以下、錳5%以下、アンチモン5%以下、マンガン10%以下、アルミニウム5%以下、シリコン5%以下、チタン5%以下、ゲルマニウム5%以下およびジルコニウム7%以下の1種または2種以上の合計0.1～25%と、少量の不純物とからな

る合金に加工率1%以上の冷間加工を施し、さらにこれを400°C以下の温度で1分以上この時間以下加熱することによりゲージ特性が安定で、ゲージ率が2以上を有する合金を得ることを特徴とするストレインゲージ用合金の製造方法。

#### 主発明の詳細な説明

本発明は鉄(Fe)、クロム(Gr)、コバルト(Co)およびニッケル(Ni)からなる合金あるいはこれを主成分とし、副成分として銅(Cu)、タンクスチン(W)、モリブデン(Mo)、ニオブ(Nb)、タンタル(Ta)、バナジウム(V)、ペラジウム(Pd)、錫(Sn)、アンチモン(Sb)、マンガン(Mn)、アルミニウム(Al)、シリコン(Si)、チタン(Ti)、ゲルマニウム(Ge)およびジルコニウム(Zr)の1種あるいは2種以上の合計0.1~25%の元素からなり、少量の不純物を含むストレインゲージ用合金およびその製造方法に関するもので、その目的とするところはゲージ率が大きく、ゲージ率の組成に対する変化が小さく、他の諸特性に優れ、かつ加工が容易なスト

レインゲージ用合金を提供するにある。

ストレインゲージは、一般に弾性歪によってゲージ細線またはゲージ枠の電気抵抗が変化する現象を利用し、逆に抵抗変化を測定することによつて歪の量あるいは応力を計測するもので、広く歪測定に用いられるばかりでなく、近年は平衡型記録計等の工業器の機械盤・電気盤交換器要素、所謂、ストレインセンサとしても利用される。

ストレインゲージ材料に課せられる条件は、

1. ゲージ率が大きいこと
2. 対鋼熱起電力が小さいこと
3. 比電気抵抗が大きいこと
4. 比電気抵抗の温度係数が小さいこと
5. 加工性がよく、機械的性質がよいこと
6. 安価なこと

などに要約される。

ところで、ストレインゲージは、その構造が金属細線(13~25μm)または格子(3~5μm)を格子状あるいはロゼット状に配置してなり、またその使用法としては前記ゲージを被測定物に接着剤で

貼付し、被測定物に生じた歪を、ゲージの抵抗変化から間接的に測定するものである。

ストレインゲージの感度はゲージ率Kによって決まり、Kの値は一般に次の式で表わされる。

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta E/E} = 1 + 2\beta + \frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta E/E}$$

ここでRはゲージ細線の全抵抗

$\beta$ はゲージ細線のガアン比

$\rho$ はゲージ細線の比電気抵抗

Eはゲージ細線の全長

この式では金属において般性0.3であるから、ゲージ率Kを大きくするためにには  $\Delta\rho/\rho \cdot (\Delta E/E)^{-1}$  を大きくしなければならない。すなわち、引張変形を与えた時に、材料の長さ方向の電子構造が大幅に変化して、 $\rho$ が増すという性質を具備する必要がある。

さてストレインゲージは、近年マイクロコンピューターの進歩に伴つて、その応用領域がますます拡大して高感度な圧力変換器やロードセルに多用されつつある。特にロードセルにおいては、商

業面における料金はかりの他にホップベーススケールやタンクスケールの力量計、圧延や押出における圧力計、コンスタントフィーダや車輪重量計やクレーン荷重計等の工業用はかりに用いられ、マイクロコンピューターと共に部品の個数、重量あるいは圧力等の検出と指示の他に、自動制御による工場管理において製品の高品位安定化や歩留まりの向上ばかりでなく、省力および省エネルギーの目的も狙っている。

ところが自動制御技術において、計測器機の高精度および高信頼性を得るためにロードセルに用いられているストレインゲージ素子の特性が重要な決定要因となる。第1表には、現在知られている主要なストレインゲージ素子の材料について、そのゲージ率K、対鋼熱起電力E<sub>mf</sub>、比電気抵抗ρと比電気抵抗ρの温度係数C<sub>T</sub>が示してある。

材 料	ゲージ率 $\frac{\mu V}{\text{°C}}$	対鋼熱起電力 $\frac{Emf}{\mu V/\text{°C}}$	比電気抵抗 $\rho \mu \Omega \cdot \text{cm}$		$\times 10^{-4} / \text{°C}$	比電気抵抗の 温度係数 $\alpha_r$
			45 ~ 69	± 0.2		
Ou - Ni	2.12 ~ 2.04	- 45	45 ~ 69	± 0.2	80	4.7
Iso-Elastic	3.6 ~ 3.53	3	40 ~ 45	± 0.2	48	20
Ni - Cr	2.65 ~ 2.1	4	100 ~ 140	± 0.2	—	—
Manganese	0.5 ~ 0.47	± 2	—	—	—	—
Monel	1.9	—	—	—	—	—
Karma	2.0	—	—	—	—	—
Pt - Ir	5.5	—	24.5	0.2	3	—
Pt - Rh - Pd	4.0 ~ 4.5	0 ~ + 1.5	14 ~ 30	0.2	7	—
Pure Pt	4.8	—	—	—	39	—
Pure Ni	— 12 ~ - 20	— 24	—	—	7	60

なストレインゲージ用材料を得るために、ゲージ率  $K$  が大きく、組成に対するゲージ率の変化が少なく、他の諸特性も優れ、そして鍛造や圧延、引抜きの如き加工性の良好なストレインゲージ用合金の開発およびその製造方法を得る目的で研究を経け、上記 Fe - Cr - Co 系合金の改良をみた結果、Cr 3 ~ 35%、Co 17 ~ 70%、Ni 0.01 ~ 60% および残部 Fe からなる合金およびこれを主成分とし、さらに副成分として Cu 10% 以下、W 7% 以下、Mo 10% 以下、Nb 7% 以下、Ta 10% 以下、V 10% 以下、Pd 20% 以下、Sn 5% 以下、Sb 5% 以下、Mn 10% 以下、Al 5% 以下、Si 5% 以下、Ti 5% 以下、Ge 4% 以下および Zr 7% 以下の 1 種または 2 種以上の合計 0.1 ~ 25% と、少量の不純物とからなる合金は、ゲージ率  $K$  が大きく、組成に対するゲージ率の変化が極めて小さく、その他の諸特性に優れ、かつ加工が容易であるストレインゲージ用合金を見い出した。

以下、図面を参照して本発明を詳細に説明する。本発明合金を製造するには、上記合金組成にな

る第 1 表のうち Ou - Ni 系合金が從来最も多く用いられている。この合金は比電気抵抗の温度係数  $\alpha_r$  の小さい特長を有する反面、ゲージ率  $K$  および比電気抵抗  $\rho$  の値も小さすぎ、また対鋼熱起電力  $Emf$  が大きいために、ストレインゲージ用材料の特性としては十分とはいえない。また同一ロット内またはロット間における性能のはらつきは 5 ~ 10% にも達し非常に不安定である。その他の合金の特性についても一長一短があり、從来用いられてきたストレインゲージ材料の代替用としては、その特性が十分とはいえない難かつた。

本発明者らは先にゲージ率  $K$  が大きく、かつ他の諸特性に優れたストレインゲージ用材料として、Fe - Cr - Co 系合金が非常に有望であることを提案してきた（特公昭 45-13229）。しかし上記合金系はそのゲージ率  $K$  が組成に対して大きく変化する欠点、即ち組成に対するゲージ率の変動が均一にも達するため、はらつきの少ない安定した製品を製造することは至難であつた。

よつて本発明者らは、はらつきの少ない高性能

・ るようにまず主成分の Cr 3 ~ 35%、Co 17 ~ 70%、Ni 0.01 ~ 60% 残部 Fe と副成分の Cu 10% 以下、W 7% 以下、Mo 10% 以下、Nb 7% 以下、Ta 10% 以下、V 10% 以下、Pd 20% 以下、Sn 5% 以下、Sb 5% 以下、Mn 10% 以下、Al 5% 以下、Si 5% 以下、Ti 5% 以下、Ge 4% 以下および Zr 7% 以下の 1 種または 2 種以上の合計 0.1 ~ 25% 以下の適当量を空気中、好ましくは非酸化性雰囲気中あるいは真空中において適當な溶解炉を用いて溶解した後、カルシウム合金、あるいはその他の脱酸剤、脱硫剤を少量（1% 以下）添加してできるだけ不純物を取り除き、充分に攪拌し、組成的に均一な溶融合金を得る。

つぎにこれを適當な形および大きさの鉢型に注入して健全な鉄塊を得、さらにとの鉄塊を高溫あるいは常温において、鍛造、圧延あるいは引抜き等の方法によつて、加工率 1% 以上の冷間加工を施し、目的の形状のもの例えば直径 0.06mm の線材あるいは厚さ 0.02mm の箔材を造り、この線材または箔材を上記の加工後そのまま、あるいは、水素

中その他の適当な非酸化性ガス中もしくは真空中で400°C以下の温度で1分以上100時間以下加熱する熱処理を加えて目的の試料を得る。そして上記方法により得られた合金試料について、ゲージ率K、対鋼熱起電力 $E_{\text{eff}}$ 、非電気抵抗 $\rho$ および非電気抵抗 $\rho$ の温度係数を測定したところ、ゲージ率K: 2~3.7、対鋼起電力 $E_{\text{eff}}$ :  $\pm 3 \mu\text{V}/\text{C}$ 以下、非電気抵抗 $\rho$ の最大値:  $90 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ および $\rho$ の温度係数 $\alpha_f$ :  $+10 \times 10^{-6}/\text{C}$ 以下の特性を有し、かつゲージ率Kの組成依存性が極めて小さい特長を有するストレインゲージ用合金が得られる。

第1図はゲージ率Kにおける冷間加工率の効果を調べたものである。図からわかるように、加工を加える前のゲージ率Kはいずれの合金試料の場合でも2以下であるが、加工処理を施すことによつてゲージ率は急激に増加して、ほぼ一定値となる。そしてゲージ率Kが2以上を示す加工率はいずれの合金試料の場合においても、1%以上であることが明白である。したがつて上記冷間加工は緻密な加工組織を形成することにより、高いゲ

ージ率を得る効果があるが、特に加工率2%以上での加工を施した場合に著しい。また上記の冷間加工について行われる加熱処理(再結晶温度以下の温度と時間)は加工による内部亜の一部を除去し、ゲージ率およびその他の諸特性を安定化する効果がある。その場合加熱温度が高いほど、あるいは加熱時間が長いほど効果が著しい。ここで加熱温度が高ければ加熱時間はより短かくてよく、また逆に加熱温度が低ければ加熱時間はより長くしなければならないことは当然である。

次に本発明の実施例について述べる。

#### 実施例1

合金番号50(組成 Fe = 45.8%、Cr = 12.5%、Mo = 23.0%、Ni = 16.7%)の合金の製造

原料としては99.97%純度の電解鉄、99.44%純度の金属クロム、99.39%純度の電解コバルトおよび99.8%純度の電解ニッケルを用いた。試料を造るには原料を全重量100gでアルミナ坩堝に入れ、酸化を防ぐため表面にアルゴンガスを吹きつけながら、空气中で高周波誘導電気炉を用いて溶かし

た。その後よく搅拌して均質な溶融合金とした。つぎにその溶融合金を内径10mm、高さ120mmの鉄型に鋳込み、得られた鋳塊を1000°Cで鍛造して外径5mmの丸棒とした。さらに1000°Cで中間焼純した後、スエーリングおよび冷間引抜きにより直径0.5mmとし、再び1000°Cで中間焼純をして冷間引抜きにより直径0.06mmの細線とし、長さ70mmに切断して試料とした。この場合の最終加工率(減面率)は98%である。これらの各種加工は高温においても常温においても容易に行うことができた。この試料の加工および熱処理条件と対応した特性は第2表のとおりである。

第2表	各加工の状態		ゲージ率K 常温	対鋼熱起電力 $E_{\text{eff}} (\mu\text{V}/\text{C})$ 0~40°C	比電気抵抗 $\rho (\mu\Omega \cdot \text{cm})$ 20°C	比電気抵抗 $\rho (\mu\Omega \cdot \text{cm})$ 0~40°C ( $\times 10^{-4}$ )	比電気抵抗 $\rho (\mu\Omega \cdot \text{cm})$ 0~40°C ( $\times 10^{-4}$ )
	加工率	冷間引抜					
(a)	上記(a)を200°Cの真空 中で30分間加熱後、常温まで炉中冷却	3.8	-2.0	72	6.9	7.2	7.1
(b)	上記(b)を300°Cの真空 中で30分間加熱後、常温まで炉中冷却	3.7	-2.1	72	6.9	7.2	7.1
(c)	上記(c)を300°Cの真空 中で1時間加熱後、常温まで炉中冷却	3.8	-2.3	70	7.0	7.1	7.1
(d)	上記(d)を300°Cの真空 中で30分間加熱後、常温まで炉中冷却	3.8	-2.4	70	7.0	7.1	7.1
(e)	上記(e)を300°Cの真空 中で1時間加熱後、常温まで炉中冷却	3.5	-2.4	70	7.0	7.1	7.1
(f)	上記(f)を400°Cの真空 中で30分間加熱後、常温まで炉中冷却	3.1	-4.1	65	11.2		

## 実施例 2

合金番号 117 (組成 Fe = 32.8 %、 Cr = 14.0 %、 Co = 28.0 %、 Ni = 18.7 %、 W = 6.5 %) の合金の製造

原料は実施例 1 と同じ純度の鉄、クロム、コバルトおよびニッケルと 99.9% 純度のタンクステンを用いた。試料の製造方法は実施例 1 と同じである。試料に種々の加工および熱処理を施して第 3 表に示すような特性を得た。

第 3 表

処理	ゲージ率 E <sub>0</sub> (μV/cm)	対電気抵抗電力 E <sub>40</sub> (μV/cm)		比電気抵抗 ρ (A90°C) 0°C × 10 <sup>-4</sup> / °C	比電気抵抗 ρ (A90°C) 20°C 0°C × 10 <sup>-4</sup> / °C	比電気抵抗 ρ (A90°C) 40°C 0°C × 10 <sup>-4</sup> / °C
		0 ~ 40°C	0 ~ 20°C			
(a) 加工率 98 % の冷間引抜 きの状態	4.2.					
(b) 上記(a)を 200°C の真空 中で 1 時間加熱後、常 温まで炉中冷却	4.1					
(c) 上記(b)を 200°C の真空 中で 5 時間加熱後、常 温まで炉中冷却				3.9	-1.5	7.1
(d) 上記(c)を 300°C の真空 中で 1 時間加熱後、常 温まで炉中冷却				3.9	-1.6	7.2
(e) 上記(d)を 300°C の真空 中で 5 時間加熱後、常 温まで炉中冷却				3.9	-1.7	7.2
(f) 上記(e)を 400°C の真空 中で 30 分間加熱後、常 温まで炉中冷却				3.2	-3.5	6.9

## 実施例 3

合金番号 205 (組成 Fe = 30.4 %、 Cr = 5.7 %、 Co = 21.7 %、 Ni = 26.1 %、 Cu = 5.7 %、 W = 6.5 %) の合金の製造

原料は実施例 1 および実施例 2 と同じ純度の鉄、クロム、コバルト、ニッケルおよびタンクステンと 99.97% 純度の銅を用いた。試料の製造方法は実施例 1 と同じである。試料に種々な加工および熱処理を施して第 4 表に示すような特性を得た。

なお本発明合金領域に属する代表的な合金は特性値を、Fe-Cr-Co 3 元合金との比較で示す。と第 3 表のとおりである。

第 4 表

処理	ゲージ率 E <sub>0</sub> (μV/cm)	対電気抵抗電力 E <sub>40</sub> (μV/cm)		比電気抵抗 ρ (A90°C) 0°C × 10 <sup>-4</sup> / °C	比電気抵抗 ρ (A90°C) 20°C 0°C × 10 <sup>-4</sup> / °C	比電気抵抗 ρ (A90°C) 40°C 0°C × 10 <sup>-4</sup> / °C
		0 ~ 40°C	0 ~ 20°C			
(a) 加工率 98 % の冷間引抜 きの状態	4.1	-1.9	8.6	5.5		
(b) 上記(a)を 200°C の真空 中で 5 時間加熱後、常 温まで炉中冷却	4.0	-2.2	8.5	5.5		
(c) 上記(b)を 200°C の真空 中で 10 時間加熱後、常 温まで炉中冷却	3.7	-2.5	8.2	5.9		
(d) 上記(c)を 300°C の真空 中で 5 時間加熱後、常 温まで炉中冷却	3.6	-2.6	8.2	5.7		
(e) 上記(d)を 300°C の真空 中で 10 時間加熱後、常 温まで炉中冷却	3.7	-2.7	8.1	5.8		
(f) 上記(e)を 400°C の真空 中で 30 分間加熱後、常 温まで炉中冷却	3.1	-3.7	7.0	12.2		

試料番号	組成 (残余 Fe)			ゲージ率 K 常温	対数起電力 E <sub>M</sub> 0~40°C	比電気抵抗 ρ 20°C	比電気抵抗の温度係数 $(\times 10^{-6} / ^\circ C)$ 0~40°C
	Cr	Co	Ni				
比電気抵抗	3	10	25	-	-	4.2	+2.1
合金金	7	15	35	-	-	3.9	-0.1
11	8	35	-	-	-	3.2	-5.3
25	9.1	27.3	9.1	-	-	3.8	-1.0
50	12.5	35.0	16.7	-	-	3.8	-2.0
55	10.7	16.3	28.6	-	-	3.7	-1.0
40	11.5	19.2	25.1	-	-	3.7	-1.5
42	16.8	16.8	9.1	-	-	3.3	-1.8
43	9.4	6.3	37.5	-	-	3.2	-3.1
45	9.4	10.6	37.5	-	-	2.8	-2.9
47	10.7	27.9	28.6	-	-	3.4	-1.8
本	11.0	13.6	27.3	18.2	Cr 9.1	3.3	-1.3
元	11.7	14.0	25.0	18.7	W 6.5	4.8	-1.2
1.51	13.6	27.3	18.2	Mo 9.1	-	3.9	-1.1
1.59	14.0	18.7	51.4	Mo 6.5	-	3.9	-2.1
1.43	13.0	27.3	18.2	Ta 9.1	-	3.7	-1.3
1.62	13.6	18.8	41.0	V 9.1	-	3.6	-2.1
1.63	12.5	25.0	16.7	Pd 6.7	-	3.1	-1.0
1.66	14.3	23.6	19.0	Si 4.8	-	3.3	-1.1
1.70	14.3	23.6	19.0	Si 4.8	-	3.3	-1.3
1.73	13.6	27.3	18.2	Mo 9.1	-	3.2	-1.1
1.77	14.3	23.8	38.1	Al 4.8	-	2.9	-2.8
1.81	14.3	23.6	19.0	Si 4.8	-	3.5	-1.1
1.87	14.3	23.6	19.0	Ti 4.8	-	3.4	-1.5
1.93	14.4	23.8	19.2	Ge 5.8	-	3.5	-3.1
1.95	14.0	23.0	18.7	Zr 6.5	-	3.2	-2.5
2.05	8.7	21.7	26.1	Cr 8.7, W 4.4	-	4.1	-1.9
2.15	8.7	21.7	26.1	V 4.3, Ta 8.7	-	3.8	-2.6
2.24	12.5	20.8	33.3	Mo 2.5, Al 2.5, Si 1.7	-	3.3	-2.7
2.32	12.5	20.8	35.3	Tl 0.6, Si 0.6	-	3.7	-2.7
2.37	14.0	23.3	37.2	Mo 0.9, Ta 4.7, Ti 0.9, Zr 0.5	-	3.2	-2.9
2.41	13.8	23.0	36.9	Pd 7.4, Si 0.5	-	3.5	-3.8
2.55	14.3	23.8	38.1	Si 0.6, Si 0.6, Ge 1.0	-	3.5	-3.5
2.64	14.3	23.8	38.1	Cr 0.5, Mn 0.5, Mo 1.0, Al 0.1	-	3.7	-3.1
2.66	13.3	22.1	35.4	Mn 6.6, Ta 2.7	-	3.8	-2.9
2.70	13.0	23.7	34.8	Cr 11.3, Zr 1.7	-	3.8	-2.7

第 2 図は加工率 98% で冷間引抜きして得た Fe-Cr-Co-Ni 系合金の各種試料について、Cr 15% 一定量で、Ni 60% 以下を組成パラメータとした場合におけるゲージ率 K と Co 量との関係を示す曲線図である。図にみると Fe-Cr-Co 3 元合金のゲージ率 K は Co 量の増加とともに減少するが、本発明合金である Fe-Cr-Co-Ni 系合金の場合、低 Co 例におけるゲージ率 K は急激に減少する。そのため Co 軸に対してゲージ率 K の極大を示す領域が出現する。この極大は Ni 添加量が増加するとともに漸次 Co 量の少ない側に移動し、それとともに極大の値も小さくなり、Ni 60%においてはゲージ率 K が 3 以下となる。したがってゲージ率 K が極大を示す部分においては Co 量に対して不变のゲージ率 K を有することになる。例えば、Ni = 2% の曲線についてみると、Co 2% ~ 6% の範囲におけるゲージ率 K は 3.90 ~ 3.91% で、ほとんど一定値どみをしてよいほどで、比電気抵抗である Fe-Cr-Co 3 元系合金 (Ni = 0%) の曲線には全くみられない大きな特長である。第

3 図において本発明の請求条件であるゲージ率 K が 3 以上を示す組成範囲は点 A (Cr 15%、Co 2%、Ni 60% および Fe 残余) と点 B (Cr 15%、Co 2%、Ni 2% および Fe 残余) を結ぶ線から上部にあることがわかる。またゲージ率 K が 3 以下を示す合金組成は本発明の請求範囲からはずれることはいうまでもない。

第 3 図は加工率 98% で冷間引抜きして得た Fe-Cr-Co-Ni 系合金の各試料について、Cr 15% 一定量で、Co 2% ~ 6% を組成パラメータとした場合におけるゲージ率 K と Ni 量との関係を示す曲線図である。Ni 量に対するゲージ率の変化は一般に Ni 10 ~ 15% において極小、および Ni 20 ~ 25% において極大を示した後、Ni 量の増加とともに漸次減少する。そしてその変化の様子は、Co 0% の場合を除いて、Co 量にはほとんど関係がないことが明らかである。第 3 図においても、第 2 図と同様極小と極大を有する組成領域では K が不变を示すことがわかる。第 3 図において本発明の請求条件であるゲージ率 K が 3 以上を示す組成範囲は点

O (Cr 15%、Co 0%、Ni 36.5%およびFe残余)と点D (Cr 15%、Co 20%、Ni 36%およびFe残余)を結ぶ線から上部にあることがわかる。またゲージ率Kが2以下を示す合金組成は本発明の請求範囲からはずれることはいうまでもない。

第4図は上記第3図と同じ試料について、対鋼熱起電力 $E_{\text{eff}}$ 、比電気抵抗 $\rho$ および比電気抵抗 $\rho$ の温度係数 $C_T$ の特性を示してある。図にみるとように対鋼熱起電力 $E_{\text{eff}}$ は組成に対して複雑に変化し、 $+3 \sim -4 \mu\text{V}/\text{C}$ で、従来のCu-Ni系合金(第1表参照)の値に比べて非常に小さいことがわかる。特に対鋼熱起電力 $E_{\text{eff}}$ の極大を示すNi 0%の組成においては約 $1 \mu\text{V}/\text{C}$ 以下で、合金組成を任意に選ぶことにより極めて小さい値を示すため、商用上直流電源を用いる装置においては安定した性能を發揮できる。比電気抵抗 $\rho$ はCoを含まないFe-15%Cr-Ni比較合金を除いた本発明合金ではCo量に関係なくNi約15%において極小を示す。そしてその値は $68 \sim 90 \mu\Omega\text{-cm}$ と大きい。比電気抵抗 $\rho$ の温度係数 $C_T$ は $\rho$ の変化にほぼ対応してお

り、Ni 15%において極大を示す。 $C_T$ の値は最高 $+10 \times 10^{-6}/\text{C}$ でCu-Ni系合金の $+20 \times 10^{-6}/\text{C}$ と比べるとはるかに大きいが、 $\pm 10 \times 10^{-6}/\text{C}$ 以下の場合には補償回路を用いることによつて相殺可能である。

以上のように本発明合金のゲージ特性は広い範囲の組成に亘つて優秀である。すなわち上記実施例1乃至実施例2、第5表および第2図乃至第4図からもわかるように、Cr 3~35%、Co 17~70%、Ni 0.01~60%、および残部FeからなるFe-Cr-Co-Ni系4元合金においてゲージ率Kが2~3.7、対鋼熱起電力 $E_{\text{eff}}$ が $\pm 3 \mu\text{V}/\text{C}$ 以下、比電気抵抗 $\rho$ が $68 \sim 90 \mu\Omega\text{-cm}$ 、 $\rho$ の温度係数 $C_T$ が $+10 \times 10^{-6}/\text{C}$ 以下の特性が得られる。さらに上記Fe-Cr-Co-Ni系4元合金を主成分として、副成分であるCu、W、Mo、Nb、Ta、V、Pd、Sn、Sb、Mn、Al、Si、Ti、GeおよびZrの1種または2種以上の合計0.1~25%を含有した合金の場合においても、ゲージ特性は従来のCu-Ni合金の特性について先に示した各値、すなわち $K = 2.04 \sim 2.12$

$E_{\text{eff}} = -43 \mu\text{V}/\text{C}$ 、 $\rho = 68 \sim 89 \mu\Omega\text{-cm}$ および $C_T = \pm 0.2 \times 10^{-6}/\text{C}$ に比較して総合的評価を行うと全く過剰なく、極めて優秀である。

本発明合金は特にゲージ率Kが大きく、かつKの組成依存性がほとんどないという従来比類をみない特長を有しているので、高感度高安定性を要求されているロードセル用ストレインゲージとして非常に好適である。本発明合金は加工状態があるいは約400°C以下の低温度の熱処理を施して使用するが、実施例にみられるように300°C以下では諸特性は僅かの変化しか示さない。しかし400°C以上では特性が急速に変化する。また本発明合金は常温においてもまた高温においても鍛造、圧延、引抜き、スエーリング等の加工が容易で工業上利するところが大きい。

次に本発明合金において、合金の組成をCr 3~35%、Co 17~70%、Ni 0.01~60%以下、および残部Feと限定し、あるいはこれを主成分とし、副成分として添加する元素をCu 10%以下、W 7%以下、Mo 10%以下、Nb 7%以下、Ta 10%以下、

V 10%以下、Pd 20%以下、Sn 5%以下、Sb 5%以下、Mn 10%以下、Al 5%以下、Si 5%以下、Ti 5%以下、Ge 4%以下およびZr 7%以下と限定した理由は、第2図乃至第4図、各実施例および第5表で明らかのように、その組成範囲のゲージ率Kは2以上で、優れたゲージ特性を示し、かつ加工性も良好であるが、組成がこの範囲をはずれるとゲージ特性は劣化し所期の特性は得られなくなるばかりでなく、加工が困難となり、ストレインゲージ用合金として不適当となるからである。第6表に主成分の組成と各種条件の関係を示す。

Co (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	W (%)	V (%)	Pt (%)	Al (%)	Sn (%)	Sb (%)	Zr (%)	Ge (%)	Y (%)
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

O: 売化なし、X: 売化あり

特性は僅かしか変化しないが、400°Cの温度で加熱を行うと比電気抵抗の温度係数  $\alpha_f$  が  $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  の値を越えてしまい、ストレインゲージの要求特性からはずれてしまうため、ストレインゲージ用合金の製造方法として不適当となるからである。

最後に本発明合金において、冷間加工後、さらに400°C以下の温度で加熱を行う場合、加熱時間を1分以上100時間以下と限定した理由は、第2表乃至第4表からも明らかなように、上記時間の範囲内で加熱処理を行うとゲージ特性はあまり変化しないばかりか、加工歪が一部除去されるためゲージ特性が安定し、そのため経年変化の少ないストレインゲージ用合金を提供することが可能である。しかし、加熱時間を1分未満とする場合はゲージ特性の安定性が劣り、また100時間の場合にはゲージ特性が急速に劣化することによるため、ストレインゲージ用合金の製造方法として不適当となるからである。

以上本発明によれば従来実用されている Ni-Ou

さらにCr 3~35%、Co 7%~70%、Ni 0.01~60%、および残部 Fe の組成範囲の合金はゲージ率 K が 2 以上で、ゲージ率の組成依存性が極めて小さい特長を有し、その上加工性が良好であるが、一般にこれにさらに W、Mo、Nb および Ta の添加はゲージ率 K を高める効果があり、また Cu、V、Pd、Sn、Sb および Zr の添加は、ゲージ率 K 以外のゲージ特性の改善に対する効果があり、Mn、Al、Si、Ti および Ge および Ge の添加は鍛造加工および冷間引抜き加工を良好にする効果がある。

また本発明合金において、冷間加工率(減面率)を 1% 以上と限定した理由は第1図で明らかのように、加工率 1% 以上のゲージ率 K は 2 以上の高い値を示すが、これ以下の加工率ではゲージ率 K が小さいばかりでなく、製造における加工率の制御が困難となるので、ストレインゲージ用合金の製造方法として不適当となるからである。

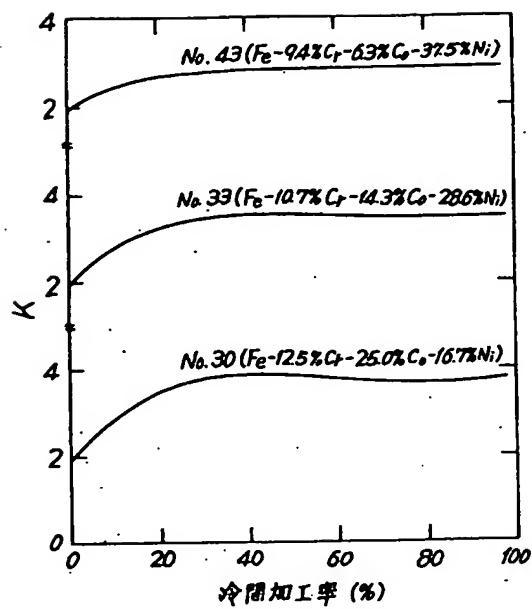
また本発明合金において冷間加工後の加熱温度を 400°C 以下と限定した理由は、第2表乃至第4表からも明らかなように、400°C 以下ではゲージ

系合金あるいは公知の Fe-Cr-Co 系合金等に比較してゲージ率の組成に対するばらつきが皆無な材料を得ることができるばかりでなく、かつ優れたゲージ特性と良好な加工性を有する合金とその製造方法を提供することができる。

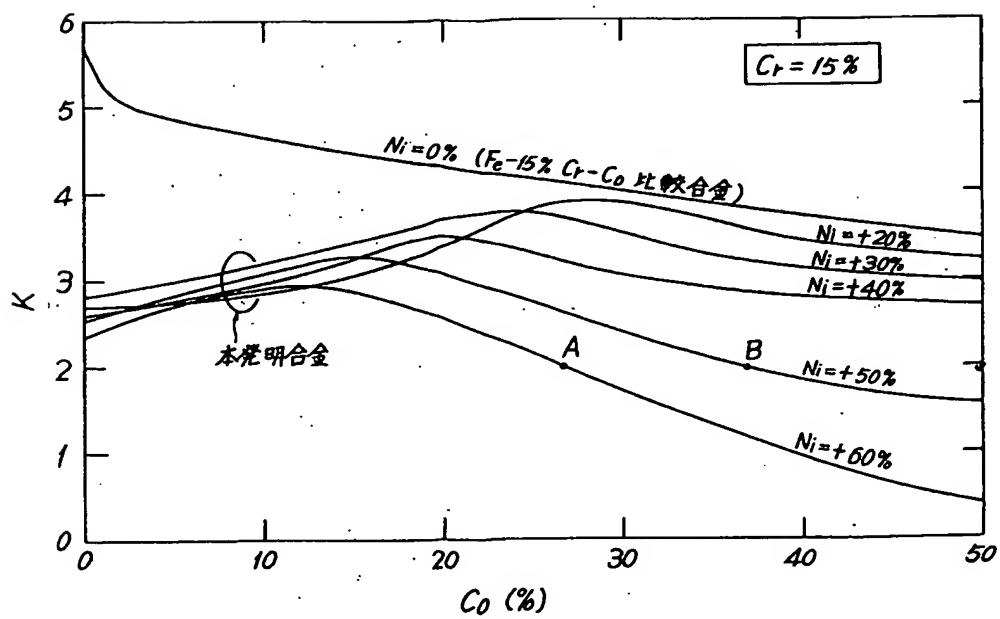
#### 各図面の簡単な説明

第1図は代表的な本発明合金のゲージ率 K と冷間加工率との関係を示す曲線図、第2図は 9% 冷間加工を施した Fe-15% Cr-Co 合金と、異った量の Ni (20, 30, 40, 50 あるいは 60%) を含む本発明合金のゲージ率 K と Co 量との関係を示す曲線図、第3図は 9% 冷間加工を施した Fe-15% Cr-Ni 合金と、異った量の Co (25, 30, 35 あるいは 40%) を含む本発明合金のゲージ率 K と Ni 量との関係を示す曲線図、および第4図は第3図において用いたものと同じ合金の対鋼熱起電力  $E_{\text{Fe}}^{\text{c}}$ 、比電気抵抗  $\rho$  および比電気抵抗の温度係数  $\alpha_f$  と Ni 量との関係を示す特性図である。

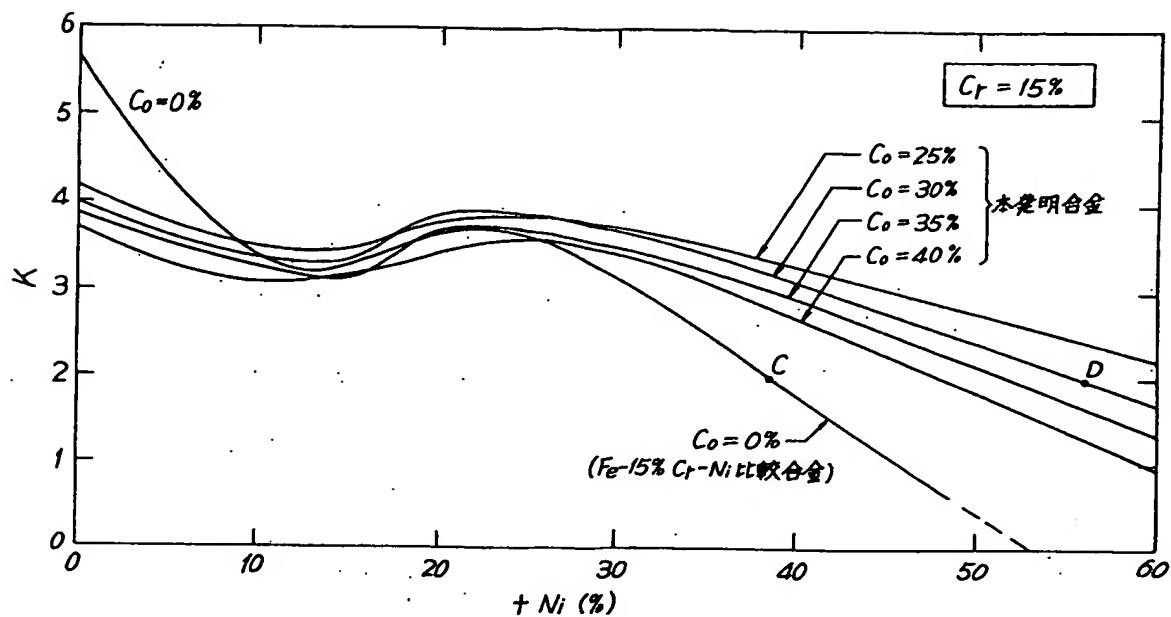
第1図



第2図



第3図



第4図

